

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNÉE 1960

THÈSE

N° 147

POUR LE

DOCTORAT EN MÉDECINE

(DIPLOME D'ÉTAT)

PAR

Jean, Marie, Albert TRACCAN

Né le 25 Novembre 1932, à PARIS

présentée et soutenue publiquement le

ETUDE SUR LE TRAVAIL MUSCULAIRE
EN HYPOXIE MODEREE

Président : Monsieur le Doyen Léon BINET

DACTYLO-SORBONNE

8, Rue Casimir Delavigne

PARIS - VI^e

1960

FACULTE DE MEDECINE DE PARIS

--:-

Année 1960

N°

T H E S E

pour le

DOCTORAT EN MEDECINE

(Diplôme d'Etat)

par

Jean, Marie, Albert TRACCAN

né le 25 novembre 1932 à Paris

--:-

Présentée et soutenue publiquement
le

--:-

ETUDE SUR LE TRAVAIL MUSCULAIRE
EN HYPOXIE MODEREE

--:-

Président : Monsieur le Doyen Léon BINET



DACTYLO-SORBONNE
8, rue Casimir-Delavigne
PARIS
1960.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

PROFESSEURS HONORAIRES :

MM. AUBIN (A), BENARD (H), BROCC (P), BULLIARD (H),
 CADENAT (F), CHABROL (E), CHAMPY (C), CHEVALLIER (P),
 DEBRE (R), DONZELOT (E), GASTINEL (P), GUILLAIN (G),
 HALPHEN (E), HARVIER (P), HAZARD (R), HEUYER (G),
 LANTUEJOUL (P), LAROCHE (G), LAUBRY (C), LEVY-SOLAL (E),
 LHERMITTE (J), LIAN (C), LOEPER (M), MARION (G),
 MATHIEU (P), MOCQUOT (P), MONDOR (H), MONOD (R),
 MOREAU (R), MULON (P), OLIVIER (E), RICHET (C),
 STROHL (A), TANON (L), VELTER (E).

DOYEN : Léon BINET
 Membre de l'Institut
 ASSESSEUR : Jean VERNE

I.. PROFESSEURS

MM.

Anatomie CORDIER (G)
 Anatomie (Ch. à titre personnel) DELMAS (A)
 Anatomie pathologique DELARUE (J)
 Anesthésiologie BAUMANN (J)
 Bactériologie FASQUELLE (R)
 Biochimie médicale JAYLE (M.F)
 Biologie appliquée à l'Education
 physique et aux Sports CHAILLEY-BERT (P)
 Biologie médicale FAUVERT (R)
 Cancérologie médicale et sociale BERNARD (J)
 Clinique carcinologique REDON (H)
 Clinique cardiologique MOUQUIN (M)
 (Beaujon SICARD (A)
 (Cochin QUENU (J)
 Cliniques chirur- (Hôtel-Dieu
 gicales (Saint-Antoine GOSSET (J)
 (Salpêtrière MOULONGUET (P)
 Clinique de chirurgie infantile
 et orthopédique FEVRE (M)
 Clinique chirurgicale orthopé-
 dique et réparatrice MERLE d'AUBIGNE (R)
 Clinique de chirurgie cardio-
 vasculaire de GAUDART d'ALLAINES
 Clinique de chirurgie pleuro-
 pulmonaire MATHEY (J)
 Clinique endocrinologique DECOURT (J)
 Clinique génétique médicale LAMY (M)
 Clinique gynécologique FUNCK-BRENTANO (P)
 Clinique des maladies cutanées
 et syphilitiques DEGOS (R)
 Clinique des maladies des enfants CATHALA (J)

MM.

Clinique des maladies infectieuses	MOLLARET (P)
Clinique des maladies mentales et de l'encéphale	DELAY (J)
Clinique des maladies métaboli- ques	HAMBURGER (J)
Clinique des maladies du sang	MARCHAL (G)
Clinique des maladies du système nerveux	ALAJOUANINE (T)
	(Broussais GENNES (L. de)
	(Cochin JUSTIN-BESANÇON (I)
Cliniques médicales	(Hôtel-Dieu BARIETY (M)
	(Lariboisière SOULIE (P)
	(Pitié DREYFUS (G)
	(St-Antoine KOURILSKY (R)
Clinique médicale d'hydrologie thérap. et climatologie	DEBRAY (C)
Clinique médicale propédeutique	PASTEUR VALLERY-RADOT
Clinique médico-sociale du dia- bète sucré et des maladies de la nutrition	DEROT (M)
Clinique de neuro-chirurgie	PETIT-DUTAILLIS (D)
	(Baudelocque LACOMME (M)
Cliniques	(Port-Royal N...
obstétricales	(Tarnier VARANGOT (J)
Clinique ophtalmologique	RENARD (G)
Clinique oto-rhino-laryngologique	AUBRY (M)
Clinique de pédiatrie sociale	MARIE (J)
Clinique de pneumo-phthisiologie	BERNARD (E)
Clinique psychiatrique infantile	MICHAUX (L)
Clinique de puériculture	LELONG (M)
Clinique de rhumatologie médicale et sociale	COSTE (F)
Clinique stomatologique	DECHAUME (M)
Clinique therap.chirurgicale	SENEQUE (J)
Clinique therap.medicale	LEMAIRE (A)
Clinique urologique	FEY (B)
Electrophysiologie médicale	DJOURNO (A)
Embryologie	GIROUD (A)
Histoire de la médecine et de la chirurgie	N...
Histologie	VERNE (J)
Hygiène des collectivités (ch. à t. pers.)	DEPARIS
Hygiène et clinique de la pre- mière enfance	TURPIN (R)
Hygiène et médecine préventive	JOANNON (P)
Médecine du Travail	DESOILLE (H)

MM.

Médecine légale	PIEDELIEVRE (R)
Parasitologie	GALLIARD (H)
Pathologie chirurgicale	COUVELAIRE (R)
Pathologie exotique	LAVIER (G)
Pathologie expérimentale et comparée	LENEGRE (J)
Pathologie humorale et immunolo- gie expérimentale ch. à t.pers.	MERKLEN (F.P)
Pathologie médicale	N...
Pathologie et therap.générales	GARCIN (R)
Pharmacologie et matière médicale	CHEYMOL (J)
Physiologie	BINET (L)
Physiologie (ch. à t. pers.)	BARGETON (D)
Physique médicale	DOGNON (A)
Radiologie médicale	DESGREZ (H)
Technique chirurgicale	PATEL (J)
Thérapeutique	BROUET (G)

II.- PROFESSEURS SANS CHAIRE, PROFESSEURS AGREGES ET MAITRES DE CONFERENCES-AGREGES

MM.

	(CABROL (C)
Anatomie	(COUINAUD (C)
	(OLIVIER (G)
	(GAUTHIER-VILLARS
	((Melle P) pr. s.ch.
Anatomie pathologique	(BUSSER (F)
	(GOUYGOU (Ch)
	(ORCEL (L)
	(PAILLAS (J)
Anesthésiologie	VOURC'H (G)
	(NEVOT (A) pr.s.ch.
Bactériologie	(BARBIER (P)
	(CHRISTOL (D)
	(TOURNIER (P)
	(DESGREZ (P)pr.s.ch.
Biochimie médicale	(POLONOVSKI (J)m.conf.
	(SCHAPIRA (G)m. conf.
Biologie médicale	BOURLIERE (F) m.conf.
	(DENOIX (P)
Carcinologie	(MATHE (G)
Dermato-Syphiligraphie	DUPERRAT (B)
Electro-radiologie	LEDOUX-LEBARD (G)
Embryologie	TUCHMANN-DUPLESSIS (H)
	(BILSKI-PASQUIER (G)
Hématologie	(DAUSSET (J)
	(COUJARD (R) pr.s.ch.
Histologie	(MAROIS (M)
	(RACADOT (J)

	MM.
Hydrologie	CORNET (A)
Hygiène	(BOYER (J) pr.s.ch. (CORRE-HURST (Mme L)
Maladies infectieuses	(BASTIN (R) (DUPONT (V)
Médecine légale	(DEROBERT (L) pr.s.ch. (HADENGUE (A) (FOURNIER (E) (GUENIOT (M)
Médecine du travail	ALBAHARY (C)
Neuro-chirurgie	DAVID (M)
Neurologie	LHERMITTE (F) (GRANJON (A) (HERVET (E) (LE LORIER (G)
Obstétrique	(MORIN (P) (MUSSET (R) (ROBEY (M) (THOYER-ROZAT (J)
Ophthalmologie	(BREGEAT (P) (SARAUX (H)
Orthopédie	(JUDET (R) (RAMADIER (J)
Oto-rhino-laryngologie	DEBAIN (J)
Parasitologie	(BRUMPT (LC) pr.s.ch. (CHABAUD (A) (BARCAT (J) (BINET (J.P.) (CAUCHOIX (J) (CHATELIN (C.L) (DUBOST (Ch) (DUBOST (Cl) (FAUREL (J)
Pathologie chirurgicale	(FLABEAU (F) (GERMAIN (A) (LAURENCE (G) agr.pers. (LORTAT-JACOB (J.L) (LOYGUE (J) (MERCADIER (PERROTIN (J) (ROBERT (H) (THOMERET (G)
Pathologie exotique	SCHNEIDER (J) (CROSNIER (J)
Pathologie expérimentale	(HARTMANN (L) (LOEP ER (J) (MAURICE (J)

MM.

Pathologie expérimentale.....	(PLAS (F) (RICHET (G) (AUSSANNAIRE (M) (BOUR (H) (BOUVIER (J) (BOUVRAIN (Y) (BRICAIRE (H) (BRISSAUD (H) (BROCARD (H) (BUGE (A) (CASTAIGNE (P)m.conf. (CATINAT (J) (CONTAMIN (F) (COURY (C) (FREZAL (J) (HOUSSET (E) (LAROCHE (Cl) (LESOBRE (R) (MACREZ (C) (NICK (J) (PEQUIGNOT (H)m.conf. (ROYER (P) (WOLFROMM (R) (JOSEPH (R) (MANDE (R) (MOZZICONACCI (P) (POLONOVSKI (C) (ROSSIER (A) (LEVY (Melle J)pr.s.ch. (BOISSIER (J) (LECHAT (P) (PARROT (J) pr.s.ch. (DEJOURS (P) (GOUGEROT (L) m.conf. (KELLERSHON (KREIS (B) (PICHOT (P) (DUCHE (D) (DELBARRE (F) (CERNEA (P) (CHAPUT (Mme A)m.c.agr. (GRELLET (M) (CHASSAGNE (P) (LAMOTTE (M) (QUENU (L)
Pathologie médicale.....	
Pédiatrie-Puériculture.....	
Pharmacologie.....	
Physiologie.....	
Physique médicale.....	
Pneumo-phtisiologie.....	
Psychiatrie.....	
Psychiatrie infantile.....	
Rhumatologie.....	
Stomatologie.....	
Thérapeutique.....	
Urologie.....	

III.- PROFESSEURS SANS CHAIRE ET AGREGES CHARGES
DE COURS DE CLINIQUE ANNEXE à titre permanent.

MM.	MM.
(ABOULKER (P)	Clinique neuro-
(AMELINE (A)	rhumatol..... SEZE (S. de)
(HUGUIER (J)	(GRASSET (J)
Clinique (LEGER (L)	(LEPAGE (F)
chirurg. (OLIVIER (C)	Clinique obsté-
(PADOVANI (P)	tricale..... (MAYER (M)
(POILLEUX (F)	(MERGER (R)
(ROUX (M)	(RAVINA (J)
(VERNE (J.M.)	Clinique oph- (DESVIGNES (P)
(HAGUENEAU (J)	talmologique (OFFRET (G)
(pr.s.ch.	Clinique oto-
(BOUDIN (G)	rhino-laryng..... MADURO (R)
Clinique (CONTE (M)	Clinique pédia-
médicale (DOMART (A)	trique et pué-
(MILLIEZ (P)	riculture..... LAPLANE (R)
(PERRAULT (M)	Clinique psy-
(RAMBERT (P)	chiatrique..... BARUK (H)
(THIEFFRY (S)	Clinique uro-
(TURIAF (J)	logique..... KUSS (R)

IV.- PROFESSEURS DETACHES DANS LES UNIVERSITES
ETRANGERES

Bactériologie.....	MM. HAUDUROY (P)pr.s.ch.
Biochimie médicale.....	ETTORI (J)pr.à t.pers.
Pathologie chirurgicale.....	RUDLER (J) pr.s.ch.

Secrétaire général de la Faculté.....	M. LENA (J)
Secrétaires.....	Mme BEURLAND (H), Melle CHAINTREUIL (G)
	Melle HURE (A)
Conservateur, chargé de la direction	
de la Bibliothèque.....	M. le Dr. HAHN (A)
Conservateurs	Melles DUMAITRE (P), GOICHON (A-M)
Bibliothécaires	Mme CONTET (J), Melles LAURENT (H),
	LE NOIR (G), QUIEVREUX (E)

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'Ecole a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs. et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

Je dédie cette thèse

à mes Grands-Parents,

In memoriam.

A mes Parents,

Dont les sacrifices de
tous les jours me per-
mirent de mener à bien
mes études.

Nous dédions cette thèse

A notre Maître et Président de thèse,
Monsieur le Professeur BINET,
Doyen de la Faculté de
Médecine de Paris,
Professeur de la Chaire de
Physiologie,
Membre de l'Institut,
Grand-Croix de la Légion d'Honneur,

Qui a bien voulu nous
faire le grand honneur
d'accepter la prési-
dence de cette thèse.

Nous le prions de trouver
ici l'expression de no-
tre profonde gratitude.

A Monsieur le Docteur Maurice V. STRUMZA,
Chef de Travaux à la Faculté de
Médecine de Paris,
Chargé de cours de Médecine Aéro-
nautique à la Faculté de Méde-
cine de Paris,
Chevalier de la Légion d'Honneur,

Qui, par son enseignement nous
a fait aimer la Médecine Aéro-
nautique, nous a inspiré le
sujet de ce travail et nous a
permis, en nous accueillant
dans le laboratoire de Biolo-
gie Aéronautique de le réaliser,

Qu'il veuille bien trouver ici,
pour ses précieux conseils,
ses encouragements et sa pa-
tience constante, l'assurance
de ma respectueuse reconnaissance.

A Madame J.M. STRUMZA-POUTONNET,

Assistante de Physiologie,

Qui nous a réservé le plus
aimable des accueils et
le précieux appui de son
expérience.

Qu'elle veuille bien trouver
ici avec nos remerciements
les plus vifs, l'expression
de notre respectueuse gra-
titude.

ETUDE SUR LE TRAVAIL MUSCULAIRE
EN HYPOXIE MODEREE

- :-

Chapitre I INTRODUCTION

-:-

Le 21 novembre 1783, Pilatre du Rozier, en s'élevant dans les airs à bord de son ballon lâché du parc du Château de la Muette, posait implicitement un grand nombre de problèmes touchant les possibilités de survie de l'être humain au sein de ce nouveau milieu.

Les recherches sur les effets de la sous-oxygénation, recherches qui se poursuivent toujours, ont démontré que toutes les fonctions de l'organisme sont plus ou moins vulnérables. Même lorsque le degré de l'hypoxie est trop faible pour mettre la vie en danger, les répercussions fonctionnelles peuvent avoir une importance considérable. Des mécanismes correcteurs interviennent augmentant ainsi la résistance à la sous-oxygénation.

Inversement, toute activité qui élève les besoins en oxygène de l'organisme, qui accroît les combustions cellulaires, augmente la susceptibilité à l'hypoxie.

Le travail musculaire élève considérablement la consommation locale d'oxygène, la multipliant par 10, par 20 ou davantage. Il est à prévoir que le système neuro-musculaire est très sensible à la baisse de tension partielle de l'oxygène dans l'air inspiré. De fait, les observations anciennes, confirmées par des travaux récents permettent de conclure qu'une forte sous-oxygénation réduit la puis-

sance musculaire et la capacité de travail. En est-il de même lors d'une hypoxie modérée et pour un travail de faible intensité ?

E.H. Christensen et H.E. Nielsen consacrèrent en 1936 d'importants travaux à l'étude de l'activité musculaire, à sa relation avec la consommation d'oxygène. Il semble démontré à la suite de ces recherches, qu'un même travail défini quantitativement, effectué à des altitudes différentes mais toutes compatibles avec une survie indéfinie du sujet, nécessite une quantité d'oxygène équivalente ou, en d'autres termes, que le rapport : volume oxygène consommé/kilogramme reste constant. Mais la dépense énergétique pour un travail complexe a-t-elle à l'altitude la même valeur qu'au niveau de la mer ?

Sur les conseils de Monsieur M.V. Strumza, nous avons pensé à étudier la consommation d'oxygène au cours de l'accomplissement d'un travail musculaire peu intense, mais exigeant la mise en action de nombreux muscles, agonistes et antagonistes effectuant des mouvements variés; associé à un certain travail intellectuel.

Ces expériences furent réalisées :

- 1° Au niveau du sol, le sujet respirant de l'air normal.
- 2° En état d'hypoxie relative correspondant à une altitude de 2.600 mètres, hypoxie réalisée simplement en ajoutant un volume déterminé d'azote à l'air atmosphérique.

Cette altitude théorique de 2.600 mètres a été choisie car elle est celle du milieu créé artificiellement dans la plupart des cabines pressurisées des avions actuellement en service.

Le travail que nous avons sélectionné comme devant remplir le mieux possible toutes les conditions préalablement exposées, consiste à effectuer la pesée d'un certain nombre d'objets différents, pesées qui seront suivies de l'inscription des résultats au cours de chaque épreuve. Ce travail bien que non imposé quantitativement devra, et c'est là une condition évidemment essentielle, demeurer sensiblement constant au cours de chaque série d'expériences, pour un même sujet. La consommation d'oxygène sera déterminée à l'aide d'un appareil à métabolisme de base à circuit ouvert Hartmann et Braun permettant des lectures instantanées quelle que soit la richesse en oxygène du mélange gazeux respiré.

Dans cette étude, nous nous proposons de donner après un court historique, la description du matériel et de la technique employée, puis, après l'exposé des résultats et leur discussion, nous en tirerons les conclusions qui nous semblent s'en dégager.

Chapitre II

HISTORIQUE

-:-

Les phénomènes physio-pathologiques que provoque le séjour en altitude de l'organisme humain, furent reconnus et analysés très tôt.

Malgré quelques allusions chez les Anciens, il faut attendre Rusticiano, qui en 1298 décrit les troubles observés par Marco Polo et ses compagnons lors de la traversée des hauts plateaux Thibétains, pour retrouver le premier document historique.

En 1590, le Révérend Père C. da Acosta décrit très précisément les malaises survenant dans les Andes Péruviennes et les attribua fort justement au fait que : "L'élément de l'air est en ce lieu là si subtil et si délicat qu'il ne se proportionne point à la respiration humaine, laquelle le requiert plus gros et plus tempéré".

H.B. de Saussure accomplit sa première ascension du Mont Blanc en 1787 et donne une excellente description de ce qu'il nomme : "le mal des montagnes", le soupçonnant d'avoir une origine chimique.

Pilatre du Rozier, le 21 novembre 1783 inaugure la période des ascensions en ballon ; Etienne Gaspard dit Robertson en 1803 dépasse 7.100 m. Glaisher et Coxwell atteignent 8.800 m en 1862 et c'est en 1875 la meurtrière as-

cension du Zénith qui fut fatale à Sivel et à Croce Spinelli et dont l'unique survivant, Tissandier a pu a posteriori analyser les effets dans sa remarquable narration, où il souligna l'effet paralysant de l'altitude sur ses infortunés compagnons. Dès 1876, D. Jourdanet avait pressenti l'importance du déficit d'oxygène dans la genèse des troubles présentés par l'organisme, mais ce sont les travaux de Paul Bert qui à partir de 1878 confirmèrent et démontrèrent cette hypothèse.

En 1898, A. Mosso observa à une altitude de 4.160 m au-dessus du niveau de la mer, à l'aide de son ergographe, qu'un sujet, même entraîné aux fortes dépressions barométriques fournissait un travail inférieur à celui habituellement réalisé au niveau de la mer.

En 1907, paraît dans la revue "Aérophile" un article consacré aux "Modifications de la force musculaire, de la circulation et de la respiration en rapport avec l'altitude, l'état hygrométrique et la température".

G. Ferry publie en 1917 ses travaux sur l'asthénie des aviateurs et les troubles physiologiques qui l'accompagnent.

R. Margaria, en 1930 a montré que la dette d'oxygène est plus élevée pour un travail identique en altitude, et que le temps de récupération s'allonge.

E.H. Christensen et H.E. Nielsen en 1936 et 1937 étudient la capacité fonctionnelle du muscle strié chez l'homme et la consommation d'oxygène sous différentes dépressions barométriques.

Hartmann en 1936 a démontré que les sujets

adaptés par un séjour de quelques semaines en haute montagne réalisent des performances musculaires, à une altitude de 4.500 m; bien supérieures à celles des sujets non entraînés.

1937 voit la publication d'une étude de P. Bergeret, P. Giordan, et M.V. Strumza, portant sur le travail musculaire en altitude, dans laquelle ils mettent en évidence la différence des réactions de l'organisme selon que l'on met en jeu une masse musculaire importante ou que l'on réalise un travail réduit, consommant peu d'oxygène. Au cours de la même année, A.L. Barach décrit le "pilot error" et sa relation avec le besoin d'oxygène ; cependant qu'en 1939 A. Koch et H. Heymann s'intéressent à la capacité de travail de l'homme sous une tension partielle d'oxygène décroissante.

Par la suite, les travaux se rapportant au travail musculaire en altitude et au mode d'action de l'hypoxie sur l'appareil locomoteur et sur le système nerveux central se multiplient :

G. Hafeli publie en 1940 : "Relation entre la fatigue musculaire et le taux d'oxygène contenu dans l'air inspiré."

Pendant cette même période, A. B. et P. Chauchard étudient l'influence de l'anoxémie sur l'excitabilité nerveuse et démontrent qu'elle entraîne une augmentation des chronaxies au niveau du cortex, avec tendance à leur égalisation au niveau des muscles agonistes et antagonistes. En 1941 les mêmes auteurs publient les résultats de leurs recherches, concernant le mode d'action de l'anoxémie sur le système nerveux.

En 1943, A. Beigel, R. Haarstrick et F. Palme s'intéressent aux variations des courants d'action cérébraux en fonction de l'inhalation

d'oxygène à des altitudes variées, cependant qu'au cours de l'année 1944, W.B. Dublin et R.W. Brown publient un travail sur l'anoxie cérébrale. Dans le même temps, E.S. Gurdjian, W.E. Stone et J.E. Webster pratiquent des recherches portant sur le métabolisme cérébral en état d'hypoxie.

1945 voit la parution d'importants travaux français : R. Fabre, G. Rougier, R. Ballanger, et J. Broussin concluent que le travail intellectuel ne provoque apparemment aucune augmentation de la consommation d'oxygène.

J. Beyne, B. Chauchard et P. Chauchard étudient l'effet de l'anoxie sur l'excitabilité nerveuse chez l'homme et démontrent qu'après un temps de latence, il existe une augmentation générale des chronaxies nerveuses.

Léon Binet, D. Bargeton et G. Laroche publient la même année le résultat de leurs recherches ayant pour objet l'influence de la sous-oxygénation sur la capacité de travail et la fatigue musculaire. Ces auteurs distinguent deux sortes d'effets : les effets précoces et les effets tardifs de la sous-oxygénation sur la capacité de travail.

"La première diminution, immédiate mais réversible, traduirait le retentissement direct de l'hypoxie au niveau du muscle, tandis que les effets tardifs mais irréversibles sembleraient devoir être surtout attribués au retentissement sur les processus généraux d'adaptation de l'organisme à l'exercice musculaire".

R. Grandpierre et R. Lemaire étudiant les conséquences de l'anoxémie sur l'excitabilité nerveuse, mettent en évidence un allongement des chronaxies portant à la fois sur les fléchisseurs et les extenseurs, traduisant l'atteinte totale du trajet nerveux, à la fois périphérique et central.

K. Schindl publie en 1951 une étude portant sur les modifications de l'écriture sous dé-

ficit d'oxygène, tandis qu'une méthode pour l'analyse des performances psycho-motrices sous hypoxie est décrite par S.J. Gerathewohl. En 1952, J. Malmejac, et P. Blanc s'intéressent à l'influence de la diminution d'oxygène sur l'aptitude fonctionnelle du cortex. M. Strollo en 1955, pratique l'étude expérimentale de l'activité cérébrale en hypoxie, et de l'évolution des temps de réponses aux tests dits d'intelligence, sous les mêmes conditions. R. Greene publie en 1957 un travail ayant pour thème l'étude des performances mentales en anoxie chronique.

Chapitre III

MATERIEL ET TECHNIQUE

-:-

Nos déterminations ont porté sur 24 sujets: 12 femmes et 12 hommes. Le premier groupe était constitué d'infirmières et d'étudiantes en médecine, âgées de 15 à 40 ans ; en fait, l'âge de la plupart d'entre elles se situait entre 20 et 34 ans, la moyenne de l'ensemble s'établissant à 25 ans.

Le deuxième groupe, celui des hommes, était également composé d'étudiants en médecine, d'infirmiers, de sapeurs pompiers âgés de 20 à 47 ans, leur âge moyen étant de 26 ans 7 mois.

Tous ces sujets étaient en bonne condition physique, il n'existait parmi eux ni d'individus obèses ni d'individus présentant une maigreur excessive ; aucun d'entre eux n'était atteint d'une affection chronique intéressant les appareils cardio-vasculaire ou respiratoire. Les expériences avaient lieu le matin à 10 heures, l'après midi à 17 heures, donc loin, peut-on considérer, des périodes digestives. La taille et le poids de chaque sujet était notés au début de chaque expérience.

MATERIEL :

Nous avons utilisé l'appareil à métabolisme basal en circuit ouvert de la maison Hartmann et Braun qui permet d'obtenir, d'une façon

instantanée le taux, dans l'air expiré, du déficit d'oxygène et celui de l'enrichissement en gaz carbonique. Un débit-mètre intercalé sur le circuit entre l'arrivée d'air et le patient permet de calculer le volume gazeux inspiré en un temps donné. Le mélange respiré par le sujet était au préalable emmagasiné dans un spiromètre de Tissot d'une capacité de 300 litres, dont la cloche était équilibrée de telle façon qu'il n'y ait aucune résistance lors des inspirations du patient.

Au cours des épreuves réalisées au niveau du sol le spiromètre est rempli par aspiration de l'air extérieur. Pour les épreuves se déroulant en altitude, altitude théorique fixée à 2.600 m au dessus du niveau de la mer, nous la réalisions en mélangeant à 100 litres de l'air extérieur prélevés dans le laboratoire, une volume de 26,5 litres d'azote. Nous obtenions ainsi pour une pression barométrique totale de l'ordre de 760 mm de Hg, une tension partielle d'oxygène de 119 mm de Hg, ce qui correspond au niveau du sol à une teneur de 16,6 pour 100 d'oxygène.

CONDITIONS EXPERIMENTALES :

Au début de chaque série d'expériences nous relevions température et pression atmosphérique du laboratoire. Les températures extrêmes notées furent comprises entre +16° et +19° centigrades. De même la pression atmosphérique pendant ce laps de temps a varié de 752 à 778 mm de mercure.

Après avoir procédé à la vérification du point mécanique zéro de l'appareil à métabolisme basal, nous faisons passer un courant de chauffage d'intensité déterminée. Ayant ainsi laissé chauffer le circuit pendant une heure, nous pratiquons un second réglage du point zéro,

réglage électrique cette fois-ci et nous en contrôlions la constance durant au moins dix minutes.

L'appareil à métabolisme basal était alors prêt à effectuer les mesures.

Le bras articulé du dispositif supportant l'embout buccal était réglé de telle façon que cet accessoire mis en place, le sujet assis sur un tabouret, était parfaitement détendu. Par ailleurs, on apportait une attention toute spéciale au calme et au repos du patient en lui évitant tout bruit intense ou inopiné, en le laissant inactif pendant une dizaine de minutes et en lui recommandant d'avoir un minimum d'activité cérébrale.

Puis, ce laps de temps écoulé, on priait le sujet de placer l'embout buccal et d'assujettir une pince nasale suffisamment serrée, de manière à ce qu'aucune fuite par les fosses nasales ne puisse se produire.

Après avoir laissé ainsi le patient respirer pendant un temps variable, lui permettant de s'habituer à ces conditions d'expérience, temps mis à profit également pour vérifier la constance de l'activité respiratoire du sujet et des résultats fournis par l'appareil, nous déclenchions le chronomètre et toutes les minutes durant dix minutes, nous déterminions : le volume d'air inspiré, le taux du déficit d'oxygène, celui de l'enrichissement de gaz carbonique dans l'air expiré.

Nous avons pratiqué dans chaque série d'expériences concernant un même patient cinq épreuves. La durée de chacune de ces épreuves, en tenant compte de la période de latence nécessitée par l'adaptation du sujet était comprise entre 15 et 16 minutes. Dans leur intervalle, un temps d'attente d'une dizaine de minutes permettait au patient de respirer librement.

L'ordre de ces épreuves, toujours le même, était le suivant :

- 1° Repos au sol,
- 2° Repos en altitude,
- 3° Travail au sol,
- 4° Travail en altitude,
- 5° Repos au sol.

Cette dernière expérience, réalisée pour s'assurer que la fatigue n'intervenait pas pour fausser les résultats recueillis durant les épreuves précédentes.

Le travail était déterminé par 3 conditions, il devait :

- 1° Etre libre, sans ordre imposé,
- 2° Ne pas être pénible, -
- 3° Comporter un nombre réduit de lectures.

Nous avons été ainsi amené à effectuer la pesée d'un certain nombre d'objets hétéroclites (livres, revues, flacons vides ou pleins). 24 au total, désignés chacun par une lettre de A à X et dont le poids s'échelonnait de 120 à 2.840 g. Les pesées étant faites à l'aide d'une balance Testut graduée de 0 à 100 grammes, toute opération entraînait obligatoirement la manipulation d'au moins un poids. Les résultats étaient inscrits sur une feuille, face à la désignation de l'objet.

Le travail devant, pour un même sujet, rester constant, nous procédions de la façon suivante :

lors des deux épreuves de travail au sol et en altitude, pendant la période de latence précédant la lecture des résultats, nous avons fait exécuter au patient un nombre indéterminé de pesées dont nous ne tenions pas compte. A l'instant 0 de la première épreuve de travail nous lui avons demandé d'effectuer ses pesées avec le maximum de rapidité compatible avec une précision de l'ordre de un

demi-gramme ; l'inscription du poids trouvé de chaque objet suivant immédiatement la pesée. A la fin des 10 minutes nous le priions de cesser. Nous séparions alors les objets manipulés au cours de cette première épreuve et seuls ceux-ci étaient à nouveau employés au cours de la seconde expérience de 10 minutes exécutée en altitude. Ensuite, dans un premier temps, nous établissions la moyenne : des volumes gazeux inspirés, des taux de déficit d'oxygène et d'enrichissement en gaz carbonique dans l'air expiré ainsi que des rapports CO_2/O_2 . Ces moyennes étaient établies séparément pour les 12 sujets féminins et pour les 12 sujets masculins.

Dans un deuxième temps, nous rapportions le volume d'air inspiré en litres/minute déterminé à la température x et sous la pression y mm de mercure existant à l'intérieur du laboratoire, à la température de 0° centigrade et à la pression de 760 mm de mercure.

Nous déterminions ensuite très simplement la quantité d'oxygène utilisée par le patient, en posant l'équation :

$$\begin{aligned} & \text{Vol. O}_2 \text{ consommé} \\ = & \text{Vol. air (} 0^\circ\text{C. 760 mm Hg)} \\ & \times \text{Taux déficit O}_2 \end{aligned}$$

De même pour le gaz carbonique :

$$\begin{aligned} & \text{Vol. CO}_2 \text{ rejeté} \\ = & \text{Vol. air (} 0^\circ\text{C. 760 mm Hg)} \\ & \times \text{Taux gain CO}_2 \end{aligned}$$

Chapitre IV

RESULTATS

--

Pour chaque expérience nous résumons brièvement les résultats obtenus en un tableau ; nous rappelons d'une part les caractéristiques du sujet : sexe, âge, poids ; d'autre part les conditions d'expérimentation : température du laboratoire et pression atmosphérique. Pour chaque épreuve nous donnons le volume d'air inspiré en litres/minute à 0° Centigrade, à l'état sec et sous une pression de 760 mm de mercure ; les 3 colonnes suivantes résument les caractéristiques de l'air expiré, toujours en litres/minute à 0° Centigrade et sous une pression de 760 mm de Hg : déficit d'oxygène par rapport à l'air inspiré, enrichissement en gaz carbonique et enfin valeur du rapport CO_2/H_2 .

Nous citerons séparément les résultats obtenus chez les femmes et chez les hommes. Le poids moyen des sujets féminins s'établissait à 56,8 kg avec un poids minimum de 48 kg et un maximum de 64,5 kg, le poids moyen des sujets masculins étant de 67,5 kg avec un minimum de 55 kg et un maximum de 78 kg.

Au cours de la première épreuve, repos au sol, le débit respiratoire moyen à la minute était de 6,97 litres chez les femmes avec un minimum de 5,26 litres et un maximum de 8,31 litres et de 8,93 litres chez les hommes avec un minimum de 6,37 litres et un maximum de 14,51 litres.

La consommation moyenne d'oxygène en millilitres/minute s'est élevée chez les femmes à

218 $\pm$ 9,5 ml avec un minimum de 150 ml et un maximum de 270 ml, tandis que chez les hommes elle s'établissait à 276,6 $\pm$ 12,9 ml, avec un minimum de 230 ml et un maximum de 350 ml. Les différences sont statistiquement significatives : $t = 3,80$ ce qui nous donne une probabilité d'erreurs inférieure à 1 pour 100. L'enrichissement moyen en gaz carbonique chez les femmes s'est élevé à 197,5 $\pm$ 9,3 ml à la minute avec un minimum de 130 ml et un maximum de 260 ml. Chez les hommes l'enrichissement moyen à la minute en gaz carbonique était de 253,3 $\pm$ 10,5 ml, avec un minimum de 210 ml et un maximum de 310 ml.

La moyenne des quotients respiratoires CO_2/O_2 était de 0,90 pour les femmes, 0,92 pour les hommes.

Lors de la deuxième épreuve, repos en altitude, le débit respiratoire moyen exprimé en litres/minute était chez les femmes de 6,57 litres avec un minimum de 4,62 litres et un maximum de 9,83 litres, alors qu'il s'est élevé à 8 lit. chez les hommes avec un minimum de 6,06 litres et un maximum de 12,04 litres.

La consommation moyenne d'oxygène à la minute, exprimée en millilitres s'établissait chez les femmes à 223,3 $\pm$ 12,4 ml, avec un minimum de 140 ml, et un maximum de 300 ml et à 270 $\pm$ 11,9 ml chez les hommes avec un minimum de 220 ml et un maximum de 330 ml. Les différences restent statistiquement significatives puisque $t = 2,86$ soit une possibilité d'erreurs comprise entre 1 et 5 pour 100. L'enrichissement moyen en gaz carbonique, exprimé en millilitres/minute, était chez les femmes de 187,5 $\pm$ 8,6 ml, avec un minimum de 130 ml et un maximum de 250 ml, et de 234,1 $\pm$ 12,3 ml avec un minimum de 190 ml et un maximum de 340 ml, chez les hommes.

La moyenne des quotients respiratoires était de 0,84 chez les femmes et de 0,85 chez les hommes.

Durant la troisième épreuve, épreuve de travail au "sol", le débit respiratoire moyen en litres/minute, s'établissait chez les femmes à 8,21 litres avec un minimum de 6,64 litres et un maximum de 10,16 litres, tandis que chez les hommes il était de 9,91 lit. avec un minimum de 8,25 lit. et un maximum de 12,31 lit. La consommation moyenne d'oxygène, exprimée en millilitres à la minute, était chez les femmes de $314,1 \pm 14,7$ ml avec un minimum de 280 ml et un maximum de 370 ml, alors que chez les hommes elle était de $376,6 \pm 14,8$ ml avec un minimum de 320 ml et un maximum de 490 ml.

Les différences sont statistiquement significatives, $t = 4,03$, soit un risque d'erreur probable inférieur à 1 pour 100.

L'enrichissement moyen en gaz carbonique, toujours en millilitres/minute, s'est élevé, chez les femmes à $265,8 \pm 8,90$ avec un minimum de 230 ml et un maximum de 330 ml, tandis qu'il était chez les hommes de $326,6 \pm 11,9$ ml avec un minimum de 270 ml et un maximum atteignant 390.

Les valeurs moyennes du quotient respiratoire étaient chez les femmes égales à 0,84 et chez les hommes à 0,86.

Lors de la quatrième épreuve, qui était celle du travail en "altitude" le débit respiratoire moyen en litres/minute était de 8,85 litres chez les femmes avec un minimum de 7,41 litres et un maximum de 11,20 litres tandis qu'il s'élevait à 10,52 chez les hommes avec un minimum de 9,14 litres et un maximum de 13,59 litres. La consommation moyenne d'oxygène, en millilitres/minute, était chez les femmes de $345,4 \pm 9,4$ ml, avec un minimum de 310 ml et un maximum de 430 ml, alors qu'elle est chez les hommes de $410,8 \pm 15,2$ ml, avec un minimum de 360 ml et un maximum de 520 ml.

Les différences restent statistiquement significatives t égalant 3,84 ce qui implique une probabilité d'erreurs inférieure à 1 pour 100.

L'enrichissement moyen en gaz carbonique, en millilitres à la minute s'est élevé chez les femmes à $277,5 \pm 8,6$ ml, avec un minimum de 240 ml et un maximum de 360 ml, et chez les hommes à $340 \pm 9,7$ ml, avec un minimum de 280 ml et un maximum de 420 ml.

Les valeurs moyennes du quotient respiratoire étaient chez les femmes de 0,80 et chez les hommes de 0,83.

Durant la cinquième épreuve, épreuve de repos au "sol" semblable à la première, le débit respiratoire moyen en litres/minute, était égal à 8,22 lit. chez les hommes avec un minimum de 4,71 lit. et un maximum de 14,24 lit. et à 6,69 lit. avec un minimum de 4,89 lit. et un maximum de 8,59 litres.

La consommation d'oxygène moyenne, exprimée en millilitres à la minute, était chez les femmes de $220 \pm 18,9$ ml, avec un minimum de 190 ml et un maximum de 260 ml, alors qu'il s'élevait chez les hommes à $260 \pm 13,4$ ml, avec un minimum de 150 ml et un maximum de 330 ml.

Les différences sont statistiquement significatives puisque $t = 2,94$ soit une probabilité d'erreurs comprise entre 1 et 5 pour 100.

L'enrichissement moyen en gaz carbonique, en millilitres, était chez les femmes de $191,6 \pm 6,1$ ml, avec un minimum de 170 ml, et un maximum de 240 ml, et chez les hommes de $233,3 \pm 11,7$ ml avec un minimum de 140 ml et un maximum de 280 ml.

Les valeurs moyennes du quotient respiratoire se sont établies à 0,83 chez les femmes et 0,88 chez les hommes.

Etude des erreurs commises durant les épreuves de travail

Nous avons observé chez nos sujets, hommes et femmes lors des épreuves de travail, l'existence d'un certain nombre d'erreurs que nous avons pu dénombrer.

a) Pendant le travail au "sol" : deux patients une femme et un homme laissaient échapper durant les manipulations chacun un objet, alors qu'une seconde femme, oubliant au cours des pesées un poids sur l'un des plateaux de la balance, faussait ainsi une grande partie de ses résultats.

b) Lors du travail en "altitude", le nombre des erreurs a sensiblement augmenté : trois femmes et deux hommes laissaient tomber poids ou objets tandis que deux sujets de sexe masculin et un sujet de sexe féminin publièrent, l'un de ces accessoires sur l'un des plateaux de la balance.

Nous avons donc observé que, durant l'épreuve de travail en "altitude", le nombre des erreurs commises a été près de trois fois plus élevé que lors de l'épreuve au "sol".

B... L

Sujet féminin âgé de 22 ans, pesant 59 kg.

Conditions d'expérience :

Température : 19° C.

Pression atmosphérique : 765 mm Hg.

Volumes gazeux exprimés en litres/minute à 0°C et sous une pression de 760 mm Hg.

Epreuves	Air ins- piré		Air expiré	
	Volume	Déficit O ₂	GainCO ₂	CO ₂ /O ₂
Repos sol I	7,73	0,21	0,20	0,95
Repos alt.	6,73	0,21	0,19	0,90
Trav. sol	7,27	0,29	0,23	0,79
Trav. alt.	8,01	0,36	0,24	0,66
Repos sol II	6,15	0,19	0,17	0,89

G... R

Sujet féminin âgé de 34 ans, pesant 58 kg.

Conditions d'expérience :

Température : 18° C.

Pression atmosphérique : 755 mm Hg.

Volumes gazeux exprimés en litres/minute à 0°C et sous une pression de 760 mm Hg.

Epreuves	Air ins- piré		Air expiré	
	Volume	Déficit O ₂	GainCO ₂	CO ₂ /O ₂
Repos sol I	10,79	0,26	0,26	I
Repos alt.	6,51	0,23	0,18	0,78
Trav. sol	9,79	0,31	0,29	0,94
Trav. alt.	9,89	0,32	0,29	0,91
Repos sol II	6,83	0,19	0,17	0,89

B... N

Sujet féminin âgé de 23 ans, pesant 57 kg.

Conditions d'expérience :

Température : 18° C.

Pression atmosphérique : 765 mm Hg.

Volumes gazeux exprimés en litres/minute à

0° C et sous une pression de 760 mm Hg.

Epreuves	Air ins- piré		Air expiré	
	Volume	Déficit O ₂	Gain CO ₂	CO ₂ /O ₂
Repos sol I	6,23	0,23	0,22	0,95
Repos alt.	6,29	0,26	0,22	0,84
Trav. sol	9,15	0,37	0,33	0,89
Trav. alt.	11,20	0,43	0,36	0,84
Repos sol II	6,72	0,24	0,21	0,88

Z... D

Sujet féminin âgé de 29 ans, pesant 59 kg.

Conditions d'expérience :

Température : 16° C.

Pression atmosphérique : 770 mm Hg.

Volumes gazeux exprimés en litres/minutes à

0° C et sous une pression de 760 mm Hg

Epreuves	Air ins- piré		Air expiré	
	Volume	Déficit O ₂	Gain CO ₂	CO ₂ /O ₂
Repos sol I	6,41	0,23	0,20	0,87
Repos alt.	5,51	0,17	0,16	0,92
Trav. sol	9,37	0,32	0,28	0,87
Trav. alt.	9,16	0,35	0,27	0,76
Repos sol II	7,04	0,24	0,20	0,85

Q... H

Sujet féminin âgé de 15 ans, pesant 48 kg.

Conditions d'expérience :

Température : 16° C.

Pression atmosphérique : 758 mm Hg.

Volumes gazeux exprimés en litres/minute à 0°C et sous une pression de 760 mm Hg.

Epreuves	Air ins- piré		Air expiré	
	Volume	Déficit O ₂	Gain CO ₂	CO ₂ /O ₂
Repos sol I	6,05	0,21	0,18	0,85
Repos alt.	7,17	0,23	0,19	0,83
Trav. sol	7,48	0,29	0,26	0,88
Trav. alt.	8,15	0,31	0,28	0,88
Rep. sol II	7,24	0,19	0,18	0,96

S... H

Sujet féminin âgé de 21 ans, pesant 52 kg.

Conditions d'expérience :

Température : 17° C.

Pression atmosphérique : 762 mm Hg.

Volumes gazeux exprimés en litres/minute à 0°C et sous une pression de 760 mm Hg.

Epreuves	Air ins- piré		Air expiré	
	Volume	Déficit O ₂	Gain CO ₂	CO ₂ /O ₂
Repos sol I	7,56	0,21	0,20	0,95
Repos alt.	6,80	0,22	0,19	0,88
Trav. sol	7,25	0,28	0,23	0,81
Trav. alt.	9,68	0,37	0,30	0,80
Rep. sol II	7	0,25	0,21	0,84

T... M.O

Sujet féminin âgé de 20 ans, pesant 59 kg.

Conditions d'expérience :

Température : 18° C.

Pression atmosphérique : 767 mm Hg.

Volumes gazeux exprimés en litres/minute à

0° C et sous une pression de 760 mm Hg.

Epreuves	Air ins- piré		Air expiré	
	Volume	Déficit O ₂	Gain CO ₂	CO ₂ /O ₂
Repos sol I	7,43	0,27	0,22	0,80
Repos alt.	7,49	0,26	0,20	0,77
Trav. sol	8,71	0,30	0,24	0,80
Trav. alt.	9,16	0,35	0,26	0,75
Repos sol II	6,70	0,22	0,18	0,81

T... C

Sujet féminin âgé de 21 ans, pesant 49 kg.

Conditions d'expérience :

Température : 18° C.

Pression atmosphérique : 752 mm Hg.

Volumes gazeux exprimés en litres/minute à

0° C et sous une pression de 760 mm Hg.

Epreuves	Air ins- piré		Air expiré	
	Volume	Déficit O ₂	Gain CO ₂	CO ₂ /O ₂
Repos sol I	6,64	0,18	0,17	0,94
Repos alt.	6,14	0,22	0,19	0,86
Trav. sol	7,51	0,32	0,26	0,81
Trav. alt	7,50	0,32	0,26	0,81
Repos sol II	5,78	0,21	0,18	0,86

G... Y

Sujet féminin âgé de 25 ans, pesant 60 kg.

Conditions d'expérience :

Température : 18° C.

Pression atmosphérique : 756 mm Hg.

Volumes gazeux exprimés en litres/minute à 0° C et sous une pression de 760 mm Hg.

Epreuves	Air ins- piré		Air expiré	
	Volume	Déficit O ₂	Gain CO ₂	CO ₂ /O ₂
Repos sol I	5,30	0,15	0,13	0,87
Repos alt.	5,79	0,14	0,13	0,93
Trav. sol.	8,55	0,31	0,28	0,90
Trav. alt.	8,79	0,33	0,27	0,82
Repos sol II	7,53	0,23	0,19	0,83

S... A

Sujet féminin âgé de 40 ans, pesant 62 kg.

Conditions d'expérience :

Température : 19° C.

Pression atmosphérique : 765 mm Hg.

Volumes gazeux exprimés en litres/minute à 0° C et sous une pression de 760 mm Hg.

Epreuves	Air ins- piré		Air expiré	
	Volume	Déficit O ₂	Gain CO ₂	CO ₂ /O ₂
Repos sol I	8,31	0,24	0,22	0,92
Repos Alt.	9,83	0,30	0,25	0,83
Trav. sol	10,16	0,37	0,30	0,81
Trav. alt.	9,65	0,35	0,28	0,80
Repos sol II	8,59	0,26	0,24	0,92

D... I

Sujet féminin âgé de 25 ans, pesant 65 kg.

Conditions d'expérience :

Température : 19° C.

Pression atmosphérique : 765 mm Hg.

Volumes gazeux exprimés en litres/minute à

0° C et sous une pression de 760 mm Hg.

Epreuves	Air ins- piré		Air expiré		
	Volume	Déficit	O ₂	Gain CO ₂	CO ₂ /O ₂
Repos sol I	6,02	0,23		0,19	0,83
Repos alt.	5,98	0,25		0,19	0,76
Trav. sol	6,64	0,30		0,24	0,80
Trav. Alt.	7,70	0,33		0,26	0,79
Repos sol II	5,91	0,23		0,20	0,87

M... G

Sujet féminin âgé de 25 ans, pesant 54 kg.

Conditions d'expérience :

Température : 18° C.

Pression atmosphérique : 765 mm Hg.

Volumes gazeux exprimés en litres/minute à

0° C et sous une pression de 760 mm Hg.

Epreuves	Air ins- piré		Air expiré		
	Volume	Déficit	O ₂	Gain CO ₂	CO ₂ /O ₂
Repos sol I	5,26	0,20		0,18	0,95
Repos alt.	4,62	0,19		0,16	0,84
Trav. sol	6,74	0,31		0,25	0,81
Trav. alt.	7,41	0,32		0,27	0,84
Repos sol II	4,89	0,19		0,17	0,89

C... C

Sujet masculin âgé de 21 ans, pesant 76 kg.

Conditions d'expérience :

Température : 18° C.

Pression atmosphérique : 768 mm Hg.

Volumes gazeux exprimés en litres/minute à
0° C. et sous une pression de 760 mm Hg.

Epreuves	Air ins- piré		Air expiré	
	Volume	Déficit O ₂	Gain CO ₂	CO ₂ /O ₂
Repos sol I	10,80	0,35	0,31	0,89
Repos alt.	7,34	0,22	0,21	0,93
Trav. sol	10,45	0,49	0,39	0,80
Trav. alt.	11,22	0,52	0,42	0,80
Repos sol II	8,27	0,32	0,27	0,82

T... J

Sujet masculin âgé de 27 ans, pesant 78 kg.

Conditions d'expérience :

Température : 18° C.

Pression atmosphérique : 767 mm Hg.

Volumes gazeux exprimés en litres/minute à
0° C et sous une pression de 760 mm Hg.

Epreuves	Air ins- piré		Air expiré	
	Volume	Déficit O ₂	Gain CO ₂	CO ₂ /O ₂
Repos sol I	7,93	0,32	0,27	0,85
Repos alt.	7,90	0,30	0,26	0,86
Trav. sol	12,31	0,44	0,39	0,87
Trav. alt.	13,59	0,49	0,41	0,84
Repos sol II	7,47	0,31	0,25	0,78

L... G

Sujet masculin âgé de 25 ans, pesant 62 kg.

Conditions d'expérience :

Température : 19° C.

Pression atmosphérique : 770 mm Hg.

Volumes gazeux exprimés en litres/minute à
0° C et sous une pression de 760 mm Hg.

Epreuves	Air ins- piré		Air expiré	
	Volume	Déficit O ₂	Gain CO ₂	CO ₂ /O ₂
Repos sol I	8,03	0,25	0,24	0,96
Repos alt.	7,06	0,25	0,21	0,84
Trav. sol.	9,31	0,33	0,30	0,91
Trav. alt.	9,95	0,36	0,31	0,86
Repos sol II	8,23	0,26	0,23	0,88

B... J

Sujet masculin âgé de 45 ans, pesant 69 kg.

Conditions d'expérience :

Température : 18° C.

Pression atmosphérique : 751 mm Hg.

Volumes gazeux exprimés en litres/minute à
0° C et sous une pression de 760 mm Hg.

Epreuves	Air ins- piré		Air expiré	
	Volume	Déficit O ₂	Gain CO ₂	CO ₂ /O ₂
Repos Sol I	7,26	0,24	0,20	0,83
Repos alt.	8,18	0,25	0,19	0,76
Trav. sol	10,29	0,33	0,29	0,88
Trav. alt.	10,32	0,36	0,28	0,78
Repos sol II	8,21	0,25	0,20	0,80

B... P

Sujet masculin âgé de 22 ans, pesant 69 kg.

Conditions d'expérience :

Température : 18° C.

Pression atmosphérique : 757 mm Hg.

Volumes gazeux exprimés en litres/minute à
0° C et sous une pression de 760 mm Hg.

Epreuves	Air ins- piré		Air expiré	
	Volume	Déficit O ₂	Gain CO ₂	CO ₂ /O ₂
Repos sol I	7,81	0,35	0,31	0,89
Repos alt.	12,04	0,33	0,34	1,03
Trav. sol	9,71	0,42	0,35	0,83
Trav. alt.	9,70	0,45	0,34	0,76
Repos sol II	7,63	0,33	0,28	0,85

K... G

Sujet masculin âgé de 20 ans, pesant 59 kg.

Conditions d'expérience :

Température : 19° C.

Pression atmosphérique : 770 mm Hg.

Volumes gazeux exprimés en litres/minute à
0° C et sous une pression de 760 mm Hg.

Epreuves	Air ins- piré		Air expiré	
	Volume	Déficit O ₂	Gain CO ₂	CO ₂ /O ₂
Repos sol I	6,37	0,23	0,21	0,91
Repos alt.	6,06	0,23	0,20	0,87
Trav. sol	9,23	0,32	0,30	0,94
Trav. alt.	10,52	0,39	0,37	0,95
Repos sol II	4,71	0,15	0,14	0,93

A... E

Sujet masuclin âgé de 20 ans, pesant 73 kg.

Conditions d'expérience :

Température : 19°C.

Pression atmosphérique : 778 mm Hg.

Volumes gazeux exprimés en litres/minute à
0° C et sous une pression de 760 mm Hg.

Epreuves	Air ins- piré		Air expiré	
	Volume	Déficit O ₂	Gain CO ₂	CO ₂ /O ₂
Repos sol I	7,57	0,24	0,23	0,93
Repos alt.	7,34	0,26	0,24	0,92
Trav. sol	10,81	0,36	0,33	0,91
Trav. alt.	10,47	0,36	0,31	0,87
Repos sol II	8,30	0,25	0,22	0,90

F... F

Sujet masculin âgé de 22 ans, pesant 65 kg.

Conditions d'expérience :

Température : 19° C.

Pression atmosphérique : 769 mm Hg.

Volumes gazeux exprimés en litres/minute à
0° C et sous une pression de 760 mm Hg.

Epreuves	Air ins- piré		Air expiré	
	Volume	Déficit O ₂	Gain CO ₂	CO ₂ /O ₂
Repos sol I	8,43	0,28	0,26	0,93
Repos alt.	7,62	0,30	0,25	0,83
Trav. sol	10,77	0,39	0,38	0,97
Trav. alt.	10,80	0,41	0,36	0,88
Repos sol II	6,72	0,25	0,23	0,92

P... J

Sujet masculin âgé de 47 ans, pesant 72 kg.

Conditions d'expérience :

Température : 18° C.

Pression atmosphérique : 754 mm Hg.

Volumes gazeux exprimés en litres/minute à

0° C. et sous une pression de 760 mm Hg.

Epreuves	Air ins- piré		Air expiré	
	Volume	Déficit O ₂	Gain CO ₂	CO ₂ /O ₂
Repos sol I	8,19	0,27	0,21	0,78
Repos alt.	8,79	0,31	0,24	0,77
Trav. sol	10,87	0,39	0,31	0,79
Trav. alt.	11,49	0,42	0,33	0,78
Repos sol II	8,35	0,26	0,21	0,81

T... J-C

Sujet masculin âgé de 23 ans, pesant 63 kg.

Conditions d'expérience :

Température : 19° C.

Pression atmosphérique : 759 mm Hg.

Volumes gazeux exprimés en litres/minute à

0° C. et sous une pression de 760 mm Hg.

Epreuves	Air ins- piré		Air expiré	
	Volume	Déficit O ₂	Gain CO ₂	CO ₂ /O ₂
Repos sol I	8,17	0,31	0,27	0,87
Repos alt.	7,80	0,32	0,27	0,84
Trav. sol	8,39	0,35	0,31	0,89
Trav. alt.	9,44	0,41	0,34	0,83
Repos sol II	7,27	0,28	0,25	0,89

N... J-C

Sujet masculin âgé de 23 ans, pesant 69 kg.

Conditions d'expérience :

Température : 19° C.

Pression atmosphérique : 771 mm Hg.

Volumes gazeux exprimés en litres/minutes à
0° C. et sous une pression de 760 mm Hg.

Epreuves	Air ins- piré		Air expiré	
	Volume	Déficit O ₂	Gain CO ₂	CO ₂ /O ₂
Repos sol I	12,15	0,24	0,26	1,11
Repos alt.	8,24	0,26	0,21	0,80
Trav. sol	8,25	0,35	0,27	0,78
Trav. alt.	9,14	0,36	0,29	0,81
Repos sol II	9,30	0,24	0,25	1,04

L... L

Sujet masculin âgé de 26 ans, pesant 55 kg.

Conditions d'expérience :

Température : 19° C.

Pression atmosphérique : 752 mm Hg.

Volumes gazeux exprimés en litres/minute à
0° C. et sous une pression de 760 mm Hg.

Epreuves	Air ins- piré		Air expiré	
	Volume	Déficit O ₂	Gain CO ₂	CO ₂ /O ₂
Repos sol I	14,51	0,24	0,27	1,12
Repos alt.	7,74	0,22	0,19	0,86
Trav. sol	8,62	0,35	0,30	0,86
Trav. alt.	9,60	0,40	0,32	0,80
Repos sol II	14,24	0,26	0,27	1,04

Consommation moyenne d'oxygène des sujets féminins et masculins
au cours des épreuves de repos et de travail au sol et en alti-
tude.

400
Millilitres
à la mn

Oxygène en

300

Consommation

200

410,8

376,6 T.A.

T.S.

345,4

T.A.

314,1

T.S.

276,6 270

R.S. R.A.

260

R.S.

223,9
218

R.S. R.A.

220

R.S.

Elimination moyenne du CO_2 en millilitres minute

400

300

Elimination moyenne de gaz carbonique des sujets féminins et masculins au cours des épreuves de repos et de travail au sol et en altitude.

340

3266

2725

2658

2533

2341

2333

Chapitre V

DISCUSSION

-:-

Précisons avant toute chose, que tous les sujets qui se sont prêtés à notre expérimentation, étaient tous placés dans les mêmes conditions : au repos, loin des périodes digestives, mais cependant, qu'ils ne se trouvaient pas dans les normes nécessaires au calcul du métabolisme de base.

Il faut noter, d'autre part, qu'en ce qui concerne la première épreuve, le débit respiratoire à la minute a été trouvé nettement trop élevé chez une femme et trois hommes, puisqu'il était respectivement de : 10,79 lit., 10,80 lit., 12,15 lit., et 14,51 lit. Nous avons attribué ces phénomènes à une hyperémotivité du sujet, car dès la deuxième épreuve en légère hypoxie, le débit respiratoire était retombé pour chacun de ces patients à : 6,51 lit., 7,34 lit., 8,24 lit. et 7,74 lit. à la minute.

Nous avons pensé que dans ces conditions, il était inutile d'éliminer ces sujets de notre statistique.

Nous allons dans ce chapitre, évoquer trois points de discussion ;

- Tout d'abord, les résultats obtenus font-ils apparaître une différence liée au sexe ?

- Deuxièmement, existe-t-il une différence entre sujets respirant de l'air normal et su-

jets soumis à une hypoxie modérée ?

- Enfin, le même travail accompli au "sol" et à une faible "altitude" n'entraîne-t-il pas une consommation accrue d'oxygène ?

I - Influence du Sexe

Avant toute chose, nous mettrons en évidence la différence sensible de corpulence entre les femmes et les hommes puisqu'il existe en moyenne un écart de poids de 10,700 kg, entre les deux catégories de sujets. Nous voyons que, au cours de toutes les épreuves, les valeurs absolues du débit respiratoire, de la consommation d'oxygène, de l'élimination du gaz carbonique et du quotient respiratoire sont plus élevés pour les hommes que pour les femmes.

En fait, si l'on recherche la valeur du

rapport :
$$\frac{\text{Consommation Oxygène}}{\text{Surface du sujet m}^2}$$

nous nous apercevons que la valeur du rapport est sensiblement la même pour chaque sexe. Il ressort donc de ce qui précède que que si les résultats apparents semblent différents ceci est dû au fait que la corpulence des sujets comparés est également sensiblement différente ; nous pouvons en déduire qu'à surface identique la consommation d'oxygène a été égale pour chaque sexe.

2 - Influence de l'hypoxie au repos

Au cours de cette seconde épreuve en légère hypoxie (la tension partielle d'oxygène était alors égale à 119 mm de Hg, soit 16,6 lit. de ce gaz pour 100 lit. d'air) le chiffre moyen des débits respiratoires à la minute des femmes et des hommes est resté, abstraction étant faite des sujets ayant hyperventilé au cours de la première expérience, sensiblement le même.

En effet, pour les patients (trois hommes et quatre femmes) ayant accru durant la seconde épreuve leur débit respiratoire à la minute, seul un homme l'a considérablement augmenté puisqu'il est passé de 7,81 à 12,04 lit., vraisemblablement à la suite d'une manifestation émotive retardée, tandis que pour le reste, le débit respiratoire minute ne s'était élevé que de quelques décilitres.

La consommation d'oxygène ainsi que l'élimination de gaz carbonique au cours des deux premières épreuves sont demeurée à peu près constantes.

L'on peut donc considérer que le séjour en hypoxie légère, correspondant à une altitude de 2.600 m n'a provoqué chez un sujet, homme ou femme, normal, aucune modification appréciable du débit respiratoire, de la consommation d'oxygène et de l'élimination du gaz carbonique.

D'autre part, nous devons ajouter que sur 24 patients, 10 ont présenté au cours de l'épreuve Repos en Altitude une sensation très nette et parfois très accusée de sommeil.

3 - Influence de l'hypoxie au cours des épreuves de travail

L'étude comparée des moyennes des débits respiratoires minute, de la consommation d'oxygène, de l'élimination du gaz carbonique durant les troisième et quatrième expériences a mis en évidence, aussi bien chez les femmes que chez les hommes, une augmentation significative lors de l'épreuve de travail en hypoxie.

Augmentation que l'on pourrait attribuer à une diminution de la coordination neuro-mus-

culaire réglant le jeu des muscles agonistes et antagonistes, ayant pour effet d'augmenter ainsi le travail "freinateur" rendant plus imprécis, ainsi que tend à le démontrer le nombre des erreurs commises, l'exécution des mouvements.

Chapitre VI

CONCLUSIONS

--

A la suite d'une expérimentation portant sur 24 sujets des deux sexes qui respiraient tantôt de l'air normal, tantôt un mélange gazeux à la pression atmosphérique ne contenant que 16,60 pour 100 d'oxygène, soit la teneur que l'on rencontre à une altitude de 2.600 m, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

I - Chez le sujet au repos mais non dans les conditions de métabolisme basal, le débit respiratoire à la minute, l'oxygène consommé, le gaz carbonique expiré (mesurés à l'aide d'un appareil à métabolisme de base en circuit ouvert) ne présentent pas de différences statistiquement significatives entre les épreuves effectuées au "sol" et celles effectuées en "altitude".

2 - Au cours du travail des différences ont été constatées lorsque le sujet inhalait de l'air normal ou de l'air appauvri en oxygène. Ce travail, d'une durée de 10 minutes, comportait la pesée d'un certain nombre d'objets hétéroclites, mais toujours les mêmes, avec obligation d'inscrire les résultats obtenus.

a) Il n'a pas été trouvé de différences statistiquement significatives entre le poids total des objets pesés à l'air normal et ceux

pesés pendant que le sujet respirait le mélange sous-oxygéné.

b) Par contre, le nombre des erreurs commises durant les pesées et celui des maladroesses était accru durant la seconde épreuve malgré le faible degré d'hypoxie.

c) Les débits respiratoires à la minute étaient légèrement augmentés aussi bien chez les femmes que chez les hommes. Nous trouvons en "altitude" un débit minute de 8,85 lit. au lieu de 8,21 lit. au "sol" chez les femmes et 10,52 lit. au lieu de 9,91 lit. chez les hommes.

d) La consommation d'oxygène était augmentée significativement aussi bien chez les femmes que chez les hommes. Nous trouvons en "altitude" une consommation d'oxygène par minute de $345,4 \pm 9,4$ ml au lieu de $314,1 \pm 14,7$ ml au "sol" chez les femmes et $410,8 \pm 15,2$ ml au lieu de $376,6 \pm 14,8$ ml chez les hommes.

e) La quantité de gaz carbonique de l'air expiré était augmentée pour les deux groupes de sujets.

Nous trouvons en "altitude" un enrichissement moyen par minute de $277,5 \pm 8,60$ ml au lieu de $265,8 \pm 8,90$ ml au "sol" chez les femmes et $340 \pm 9,70$ ml au lieu de $326,6 \pm 11,90$ ml chez les hommes.

f) Les valeurs des quotients respiratoires CO_2/O_2 ont été calculés mais leur signification mérite une longue discussion, les variations de la ventilation modifient l'importance de l'élimination du gaz carbonique.

3 - De nouvelles déterminations témoins ont été effectuées au repos et au "sol", après la dernière épreuve de travail ; elles nous ont donné pour le débit respiratoire, la consommation d'oxygène, l'élimination de

gaz carbonique, des valeurs presque identiques à celles que nous avons trouvé lors de l'épreuve initiale dans les mêmes conditions. Ceci nous permet de déduire que les sujets étaient dans des conditions physiques semblables et que l'exagération de la dépense énergétique à l' "altitude" de 2.600 m est liée à l'hypoxie.

Ces résultats permettent de considérer que les pressions actuelles des cabines d'avions volant à une grande hauteur et ramenées par compression à l'altitude théorique de 2.600 m n'assurent pas les conditions optimum de pilotage.

-:-

Vu :
Le Président :
signé : L. BINET

Vu :
Le Doyen :
signé : L. BINET

Vu et Permis d'Imprimer
Le Recteur de l'Académie de Paris
signé : Jean SARRAILH

BIBLIOGRAPHIE

-:-

ALLERODER H. et LANDIEN H.

Behavior of complementary air, residual
air and oxygen consumption during work
test.

Ztschr. f. d. ges. exper. Med.

108 : 406-410 1940

ANTHONY A.J. et SCHALTENBRAND G.

Question of dependence of muscular ten-
sion on oxygen concentration of inspi-
red air.

Luftfahrtmedizin I : 218-225 1936

BARACH A.L.

Effect of low and high tensions of oxy-
gen on mental functioning.

J. Aviation Med. 12 : 30-38 March '41

BARACH A.L. and others,

Impairment of emotional control as test
of altitude anoxia.

J. Aviation Med. 14 : 63-70 April '43

BARACH A.L.

"Pilot-error" and oxygen want, with des-
cription of new oxygen face tent.

J.A.M.A. 108 : 1868-1872 May 29, '37

BAUER L.H.

Aviation medicine ; oxygen want and use
of supplementary oxygen.

Ann. Int. Med. 18 : 15-20 Jan. '43

- BEIGEL A., HAARSTRICK R. and PALME F.
Study of cerebral action currents following oxygen inhalation at various altitudes.
Luftfahrtmedizin 7 : 305-318 1943
- BERGERET P., GIORDAN P. et STRUMZA M.V.
Travail musculaire en altitude et inhalation d'oxygène.
Travail humain 1937 5 129-149
- BEYNE J., CHAUCHARD B. et CHAUCHARD P.
Effet de l'anoxie sur l'excitabilité nerveuse chez l'homme.
Compt. rend. Soc. de Biol. 139 : 929-930 1945.
- BINET Léon, BARGETON D. et LAROCHE G.
Influence de la sous-oxygénation sur la capacité de travail et la fatigue musculaire.
Compt. rend. Soc. de Biol. 139:547-548 1945.
- BOELES J.T.
The influence of stagnant anoxia on the cerebral cortex.
Aeromed. acta Soesterberg p. 203-205, Spec. Edition 1956-1957.
- CHAUCHARD A., B. et P.
Mode d'action de l'anoxémie sur le système nerveux,
Compt. rend. Soc. de Biol. 135 : 531 - 534 1941.
- CHAUCHARD A., B. et P.
Influence de l'anoxémie sur l'excitabilité nerveuse.
Compt. rend. Soc. de Biol. 134 : 515 - 517 1940.
- CHRISTENSEN E.H. et NIELSEN H.E.,
Functional capacity of human skeletal muscle in low pressure.
Skandinav. Arch. f. Physiol. 74 : 272-280 1936.

CHRISTENSEN E.H.

Oxygen consumption at low pressure.

Nord. Med. tidskr. 13 : 486-493

March 27, '37.

DUBLIN W.B. et BROWN R.W.

Cerebral anoxia.

Washington Bull (n° 3) 6 : 37-41

1944.

FABRE R., ROUGIER G., BALLANGER et BROUSSIN J.

Influence du travail intellectuel sur
la consommation d'oxygène.

Compt. rend. Soc. de Biol. 139 :

91-92 1945.

FARAGLIA L.

Respiratory conditions in work during
anoxia.

Bull. Soc. Ital. biol. sper. 17 : 441

August 1942.

GASTAUT H., NAQUET R., REGIS H.

Effets comparatifs de l'anoxie sur l'ac-
tivité électrique corticale et l'acti-
vité réticulaire.

Compt. rend. Soc. de Biol. p. 2141-4

151 (12) 1957.

GELLHORN E.

Fundamental principles in adjustment
reactions of organism to anoxia.

Ann. Int. Med. 14 : 1518-1532 March '41

GERATHEWOHL S.J.

Method for analysis of psychomotor per-
formance under hypoxia.

J. Aviation Med. 22 : 196-206 June 1951.

GETTEL R.R. et KNOEP L.F.

Effect of low oxygen on muscular con-
traction.

Proc. Soc. exp. Biol. N.Y. 26 830-831.

GREEN D.M.

Variations in effect of anoxia on performance.

Am. J. Physiol. 151 : 588-592 Dec. '47.

GREENE R.

Mental performance in chronic anoxia.

British Medical Journal (London)

p. 1028-31 n° 5026 4 May 57.

GURDJIAN E.S., STONE W.E. et WEBSTER J.E.

Cerebral metabolism in hypoxia.

Arch. Neurol. and Psychiat. 51 : 472-477 May 1944.

HAFELI G.

Dependence of muscular fatigue on oxygen content of inspired air.

Ztschr. f. Biol. 100 : 15-22 1940.

HARTMANN D.

Comparison of effects of reduced pressure and oxygen deficiency on man ; effects on general behavior and on respiration.

Luftfahrtmedizin 3 : 116-124 1939.

HARTMANN H.

Effects of altitude adaptation on pulse and muscular power.

Luftfahrtmedizin I : 2-14 1936.

KANNITZ H. et AUSTRIA G.F.

Muscle fatigue (relations to use of oxygen by tissues)

Acta med. Philippina I : 369-414

April-June 1940.

KOCH A.

Respiratory minute volume during work under conditions of deficiency ; value in testing fitness of flyers.

Luftfahrtmedizin 3 : 97-103 1939.

KOCH A. et HEYMAN H.

Working capacity of man in increasing deficiency.

Arbeitsphysiol. 10 : 353-366 1939.

LEMAIRE R.

Effects of anoxemia on action potential of muscle in course of voluntary movement.

Compt. rend. Soc. de Biol. 143 : 616-618 1949.

MAAG C.H. et HALL A.L.

Characteristics of mental impairment under hypoxia.

Naval School of aviation Medicine
(Pensacola, Fla) Report n° 2 I mar '56.

MAIMEJAC J. et BLANC P.

Influence of oxygen want on functional cortical fitness.

J. Aviation Med. 23 : 177-180 193
April 1952.

MUIDO L.

Influence of anoxia on eye hand coordination.

Acta Physiol. Scandinav. 12 : 99-101
1946.

NIELSEN J.M. et FRIEDMAN A.P.

Psychomotor hyperkinesia due to anoxia.

Bull. Los Angeles Neurol. Soc. 7 :
202-203 Dec. 1942.

RICKETTS H.T. and Others.

Effects of mild anoxia on neuro-muscular coordination in skilled investigators.

J. Aviation Med. 16 : 429-431 Dec. '45

ROSSANIGO F.

Volume and length of inspiration during muscular work in anoxia.

Riv. med. Aeronaut. 17 : 15-26
Jan-March 1954 I

SCHINDL K.

Changes of handwriting in Oxygen deficiency.

Acta neuroveg. 2 : 408-432 1951

SMITH G.M.

Differentiel effect of prolonged mild anoxia on sensory and sensory-motor reactions and on such subjective states as sleepiness, irritability and boredom. J. Gen. Psychol. 38 : 3-14 Jan. 1948.

STROLLO M.

Intellectual activity in hypoxia ; experimental studies.

Riv. med. Aeronaut. 18 : 688-708

July-Sept. 1955 I

STROLLO M.

Behavior of reaction time connected with intelligence tests in hypoxia.

Riv. med. Aeronaut. 19 : 443-465

July-Sept. 1956 I

SUKHOVIY F.I.

Psychophysiologic functions at height of 9.000 m during oxygen inhalation.

Fiziol. zhur. 30 : 215-220 1941.

YASKIN J.C.et THORNER M.W.

Effects upon cerebral cortex of altitude chamber anoxia.

Tr. Am. Neurol. A. 69 : 88-93 1943.

